

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 06224106
PUBLICATION DATE : 12-08-94

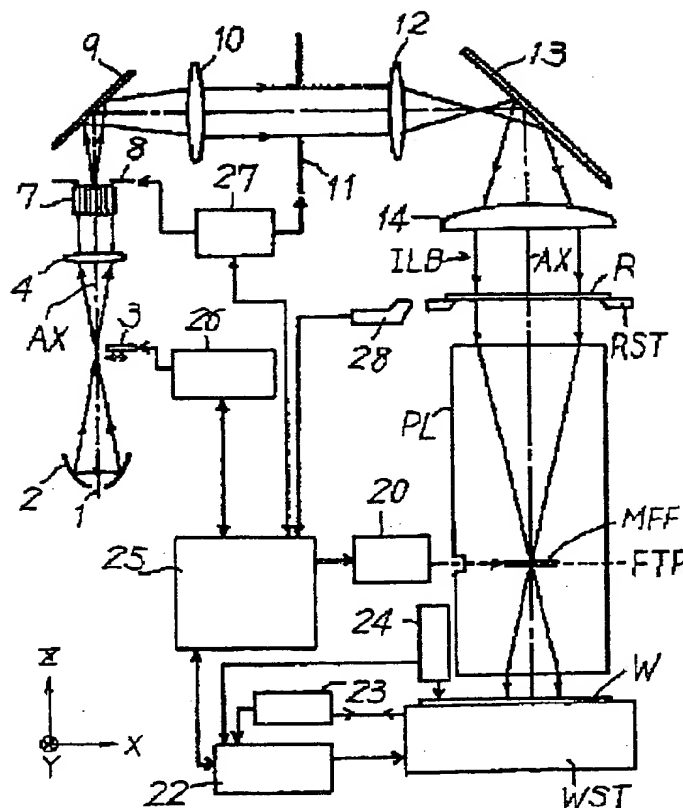
APPLICATION DATE : 26-01-93
APPLICATION NUMBER : 05010794

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : SHIRAISHI NAOMASA;

INT.CL. : H01L 21/027 G03F 7/20

TITLE : PROJECTION EXPOSURE DEVICE



ABSTRACT : PURPOSE: To improve the distinction of image and the depth of focal point for a contact hole pattern which is somewhat in close vicinity by a method wherein a multiple focus filter, with which the amplitude and the phase of the transmitted light is provided on the Fourier transform surface facing a projection optical system.

CONSTITUTION: A reticle R is retained by a reticle stage RST, and the optical image of contact hole pattern of the reticle R is image-formed on the resist layer on the surface of a wafer R through the intermediary of a projection optical system PL. A multiple focus filter MFF with which the phase and the transmittivity of the transmitted light, is provided on the Fourier transform plane FTP corresponding to the reticle R in the projection optical system PL. The transmittivity of the center part of the multiple focus filter MFF is made lower than the transmittivity of the circumferential part, and the phase of the light passing the center part and the light passing the circumferential part is inverted. As a result, the ghost image generated by ringing can be removed without lowering the efficiency of the conventional multiple focus filter.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-224106

(43) 公開日 平成6年(1994)8月12日

(51) Int.Cl.³

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 2 1

7316-2H

7352-4M

H 0 1 L 21/30

3 1 1 N

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平5-10794

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(22) 出願日

平成5年(1993)1月26日

(72) 発明者

白石 直正

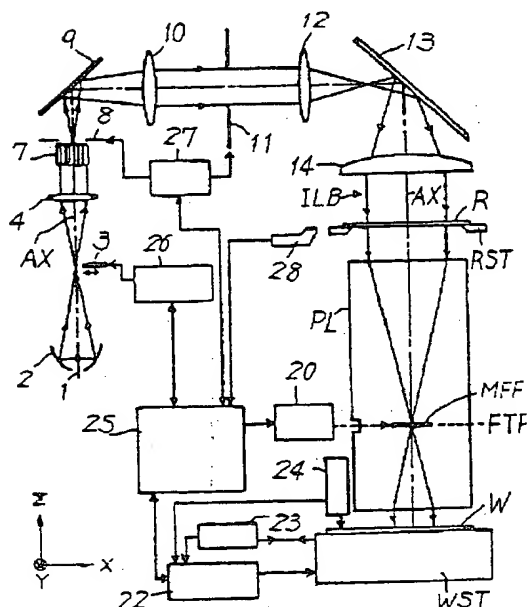
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 コンタクトホールパターンの投影露光時の焦点深度を拡大する。

【構成】 投影光学系 PL の瞳面の中心円形領域を通過する結像光束 L F a とその周辺の輪帯状領域を通過する結像光束 L F b との位相を反転させ、かつ中心円形部の振幅透過率を負とし、周辺部の振幅透過率を正とする多重焦点フィルター MFF を設け、レチクル R 上の所定間隔の 2 点の一方に対して他方で照明光のコヒーレンス係数を逆符号とするように照明条件を設定する設定手段 (8) を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つの微細のホール用パターンが形成されたマスクを、露光用の照明光で照射する照明系と、前記マスクのホール用パターンから発生した光を入射して前記ホール用パターンの像を感光基板上に結像投影する投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系内の前記マスクに対する光学的フーリエ変換面又はその近傍に、前記投影光学系の光軸を中心とする円形領域内の振幅透過率を t ($-1 \leq t \leq 0$) とし、前記円形領域外の振幅透過率をほぼ+1とする多重焦点フィルタと；前記ホール用パターン面における照明光のコヒーレンス関数が前記ホールパターン面上で所定間隔だけ離れた2つの位置の一方の位置に対して他方の位置でほぼ逆極性となるように、前記照明光のマスクへの入射角度範囲を設定する設定部材とを設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記設定手段は前記照明系中の前記ホール用パターン面に対する光学的フーリエ変換面、もしくはその近傍に設けられ、中央部を遮光した輪帯状のフィルタであることを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記設定手段は前記照明系中の前記ホール用パターン面に対する光学的フーリエ変換面、もしくはその近傍面内における光量分布のピーク値を前記照明系の光軸から偏心した位置に設定する手段であることを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項4】 前記所定間隔は前記振幅透過率と前記円形領域の大きさ、及び前記投影光学系の開口数に応じて予め定められることを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は投影露光装置に関し、特に半導体集積回路や液晶ディスプレイ等の製造に用いる微細パターンを転写露光する投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体集積回路 (LSI) 等の製造工程では、回路基板 (レチクル) 上の回路パターンを投影光学系によりシリコンウェハ (ウェハ) 等に等倍で又は縮小して転写する投影露光装置が使用されている。半導体の高集積化に伴い、さらに微細なパターンを転写可能とする投影光学系が要求されてきた。

【0003】 投影光学系の解像度は、解像度 $k: \lambda / NA$ で表される。 λ は使用する光の波長 (露光波長) を表し、 NA は投影光学系の開口数を表す。また、 k_1 は0.7程度の比例定数であり使用するフォトリソト (感光性被パターンニング材料) の性能により多少変化する。上記の如き従来の技術において解像力を高めるため

には、露光波長 (λ) を短波長化するか、あるいは投影光学系の開口数 (NA) を大きくすることで対応してきた。しかしながら、現在主流のi線 ($\lambda = 0.365 \mu m$) より短波長の光に対しては透過率の高い光学材料があまりないこと、安定した光源のないこと等の理由によりこれらの方法は実用的でなくなってきた。またLSIの量産に不可欠な焦点深度 (フォーカスマージン) DOFはほぼ $k_2 \times \lambda / NA^2$ (k_2 は比例定数を表し、ここでは $k_2 \approx 1$) で決まるため、大開口数化、短波長化の双方により焦点深度が激減しLSIの量産は不可能となってしまう。従って、たとえ大開口数の投影光学系が製造できたとしても、必要な焦点深度が得られないことになり、実用上の大きな障害となる。

【0004】 そこで本件出願人は、このような投影光学系の諸問題を解決し、高い解像力と大きな焦点深度との両方を得ることができる新たな投影露光技術を、特開平4-101148号公報、特開平4-225358号公報、特開平4-225359号公報等で提案した。この露光技術は、投影光学系は既存のままで、レチクルへの照明方法を特殊な形体に制御することで見かけ上の解像力と焦点深度とを増大させるものであり、SHRINC (Super High Resolution by Illumination Control) 法と呼ばれる。このSHRINC法は、レチクルR上のライン・アンド・スペースパターン (L&Sパターン) のピッチ方向に対称的に傾斜した2つの照明光 (又は4つの照明光) をレチクルへ照射し、L&Sパターンから発生する0次回折光成分と±1次回折光成分の一方とを、投影光学系の瞳内で中心点に関して対称的に通し、2光束干渉 (一方の1次回折光と0次回折光との干渉) の原理を利用して、L&Sパターンの投影像 (干渉縞) を生成するものである。

【0005】 このように2光束干渉を利用した結像によると、デフォーカス時の波面収差の発生が従来の方法 (通常の垂直照明) の場合よりも押さえられるため、見かけ上焦点深度が大きくなるのである。ところが、このSHRINC法はレチクルR上に形成されるパターンがL&Sパターン (格子) のように、周期構造を持つときに所期の効果が得られるのであり、コンタクトホール等の孤立したパターンに対してはその効果が得られない。一般に、孤立した微小パターンの場合、そこからの回折光は回折角についてほとんど一様なフランクフォーファ回折として発生し、投影光学系の瞳内では0次回折光と高次回折光とに明確に分離せずに、ほぼ一様に分布する。

【0006】 そこでコンタクトホール等の孤立パターンに対して見かけ上の焦点深度を拡大させる露光方法として、ウェハWの1つのショット領域に対する露光を複数回に分け、各露光の間にウェハWを光軸方向に一定量だけ移動させる方法が、例えば特開昭63-42122号公報で提案された。この露光方法はFLEX (Focu

s Latitude enhancement Exposure) 法と呼ばれ、コンタクトホール等の孤立パターンに対しては十分な焦点深度拡大効果を得ることができる。ただしFLEX法は、わずかにデフォーカスしたコンタクトホール像を多重露光することを必須とするため、現像後に得られるレジスト像は必然的に鮮鋭度が低下したものとなる。この鮮鋭度低下（プロファイル悪化）の問題は、ガンマ値が高いレジストを用いたり、多層レジストを用いたり、あるいはCEL (Contrast Enhancement Layer) を用いたりすることで補うことができる。

【0007】またFLEX法のように露光動作中にウェハWを光軸方向に移動させなくても、コンタクトホールパターンの投影時の焦点深度を拡大する試みとして投影光学系の瞳面に多重焦点フィルターを設ける方法が提案されている。この方法として例えば1991年春季応用物理学会の予稿集29a-ZC-8, 9で発表されたSuper-FLEX法が知られている。このSuper

FLEX法は、投影光学系の瞳に透明な位相板（多重焦点フィルター）を設け、この位相板によって結像光に与えられる複素振幅透過率が光軸から周辺に向かって順次変化するような特性を持たせたものである。このようにすると、投影光学系によって結像された像はベストフォーカス面（レチクルRと共役な面）を中心に光軸方向に一定の幅（従来よりは広い）でシャープさを保つことになり、焦点深度が増大するのである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 以上で述べた多重焦点フィルターを使った露光方法では、孤立的なコンタクトホールパターンに対して十分な焦点深度の増大効果を得ることができる。しかしながら、ある程度接近した複数のコンタクトホールパターンではパターン間に不要なパターンが発生してしまう、すなわち両方法共にホール間のフォトレジストに不要な膜べりを生じさせてしまい、事実上使用することが困難になることがわかった。

【0009】そこで本発明は上記問題点に鑑みて成されたもので、ある程度近接したコンタクトホールパターンに対しても、解像度や焦点深度を向上する投影露光装置の実現を目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 上記問題点の解決のために本発明では少なくとも2つの微細のホール用パターンが形成されたマスクを、露光用の照明光で照射する照明系と、マスクのホール用パターンから発生した光を入射して前記ホール用パターンの像を感光基板上に結像投影する投影光学系とを備えた投影露光装置において、投影光学系内のマスクに対する光学的フーリエ変換面又はその近傍に、投影光学系の光軸を中心とする円形領域内の振幅透過率を t ($-1 \leq t \leq 0$) とし、円形領域外の振幅透過率をほぼ+1とする多重焦点フィルターと；前記ホ

ール用パターン面における照明光のコヒーレンス関数が前記ホールパターン面上で前記所定間隔だけ離れた2つの位置の一方の位置に対して他方の位置でほぼ逆極性となるように、前記照明光のマスクへの入射角度範囲を設定する設定部材とを設けた。

【0011】

【作用】 本発明に於いては、投影光学系のレチクルに対するフーリエ変換面（瞳面）に透過光の振幅及び位相を変化せしめる瞳フィルター（多重焦点フィルター）を設け、レチクルを照明する光束をいわゆる輪帯照明あるいは変形照明としている。このため、完全に孤立していない、すなわち近接したコンタクトホールパターンに対する照明光の位相（コヒーレンス）を近接した両ホールパターン上で逆符号とすることができる。これにより、従来の多重焦点フィルターを使った露光方法で問題となる不要な膜べり、すなわち近接したパターン間に不要なパターンが誤転写されてしまうという問題を従来の多重焦点フィルターの性能を低下させることなく解決できる。

【0012】

【実施例】 図1を参照して本発明の一実施例を説明する。図1は本実施例に好適な投影露光装置の構成の概略を示す図である。図1において、水銀ランプ1から放射された高輝度光は楕円鏡2によって第2焦点に収束した後、発散光となってコリメータレンズ4に入射する。その第2焦点の位置にはロータリーシャッター3が配置され、照明光の通過、遮断を制御する。コリメータレンズ4によってほぼ平行光束に変換された照明光は、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ7に入射する。

【0013】 さて、フライアイレンズ7に入射した照明光（ほぼ平行光束）は、フライアイレンズ7の複数のレンズエレメントによって分割され、各レンズエレメントの夫々の射出側には2次光源像（水銀ランプ1の発光点の像）が形成される。従ってフライアイレンズ7の射出側にはレンズエレメントの数と同じ数の点光源像が分布し、面光源像が作られる。フライアイレンズ7の射出側には、面光源像の大きさを調整するための可変絞り8が設けられる。この絞り8を通った照明光（発散光）はミラー9で反射され、集光レンズ系10に入射した後、レチクルブラインド11の矩形的開口部を均一な照度分布で照射する。図1では、フライアイレンズ7の射出側に形成される複数の2次光源像（点光源）のうち、光軸AX上に位置する1つの2次光源像からの照明光のみを代表的に図示してある。また集光レンズ系10によって、フライアイレンズ7の射出側（2次光源像が形成される面）はレチクルブラインド11の矩形開口面に対するフーリエ変換面になっている。従ってフライアイレンズ7の複数の2次光源像の夫々から発散して集光レンズ系10に入射した各照明光は、レチクルブラインド11上で互いにわずかつ入射角が異なる平行光束となって重畳

される。

【0014】レチクルブラインド11の矩形開口を通過した照明光はレンズ系12、ミラー13を介してコンデンサーレンズ14に入射し、コンデンサーレンズ14を射出する光が照明光1LBとなってレチクルRに達する。ここでレチクルブラインド11の矩形開口面とレチクルRのパターン面とは、レンズ系12とコンデンサーレンズ14との合成系によって互いに共役に配置され、レチクルブラインド11の矩形開口の像が、レチクルRのパターン面内に形成された矩形のパターン形成領域を含むように結像される。図1に示すように、フライアイレンズ7の2次光源像のうち光軸AX上に位置する1つの2次光源像からの照明光1LBは、レチクルR上では光軸AXに対して傾きのない平行光束になっているが、これは投影光学系PLのレチクル側がテレセントリックだからである。もちろん、フライアイレンズ7の射出側には光軸AX上からずれて位置する多数の2次光源像（軸外の点光源）が形成されるが、それらからの照明光はいずれもレチクルR上では光軸AXに対して傾いた平行光束となってパターン形成領域内で平置される。尚、レチクルRのパターン面とフライアイレンズ7の射出側面（光源像面）とが、集光レンズ系10、レンズ系12、コンデンサーレンズ14の合成系によって光学的にフーリエ変換の関係になっていることは言うまでもない。またレチクルRへの照明光1LBの入射角度範囲 ϕ （図2参照）は絞り8の開口径によって変化し、絞り8の開口径を小さくして面光源の実質的な面積を小さくすると、入射角度範囲 ϕ も小さくなる。

【0015】すなわち、フライアイレンズ7の射出面近傍で照明光束の光量分布を変化させると、レチクルR面に入射する光束の入射角度に対する光量分布を変化させることができる。そのため絞り8により、照明光の空間的コヒーレンシーを調整することができる（詳細後述）。その空間的コヒーレンシーの度合いを表すファクタとして、照明光1LBの最大入射角 $\phi/2$ の正弦と投影光学系PLのレチクル側の開口数NA_rとの比（ σ 値）が用いられている。この σ 値は通常、 $\sigma = \sin(\phi/2) / \text{NA}_r$ で定義され、現在検査中のステップの多くは、 $\sigma = 0.5 \sim 0.7$ 程度の範囲で使われている。

【0016】さて、レチクルRのパターン面にはクロム層によって所定のレチクルパターンが形成されているが、ここではクロム層が全面に蒸着され、その内に微小な矩形開口部（クロム層のない透明部）で形成された複数のコンタクトホールパターンが存在するものとする。コンタクトホールパターンはウェハW上に投影したとき、 $0.5 \mu\text{m}$ 角（又は径）以下の寸法になるように設計されていることもあり、投影光学系PLの投影倍率 $1/M$ を考慮してレチクルR上での寸法が決められている。また互いに隣接するコンタクトホール間

の寸法は、通常1つのコンタクトホールパターンの開口部寸法に対してかなり大きくなっているため、孤立的な微小パターンとして存在する。すなわち、隣接する2つのコンタクトホールパターンは、それぞれから発生した光（回折、散乱光）が、回折格子のように互いに強く影響し合うことがない程度に離れていることが多い。ところが後で詳しく述べるが、かなり接近した配置でコンタクトホールパターンを形成したレチクルも存在する。

【0017】図1において、レチクルRはレチクルステージRSTに保持され、レチクルRのコンタクトホールパターンの光学像（光強度分布）は投影光学系PLを介してウェハWの表面のフォトリソ層に結像される。ここで、図1中のレチクルRからウェハWまでの光路は、結像光束の主光線のみで示す。そして投影光学系PL内のレチクルRに対するフーリエ変換面FTP（以下「瞳面FTP」と称す。）には透過光の位相及び透過率を制御する多重焦点フィルターMFF（詳細後述）を設けてある。フーリエ変換面FTPは同時にウェハWに対してもフーリエ変換面となっている。

【0018】この多重焦点フィルターMFFは、瞳面FTPの最大径をカバーする直径を有し、スライダ機構20によって光路外へ退出したり、光路内に進入したりすることができる。コンタクトホールパターン以外のレチクルパターンの露光時には、多重焦点フィルターMFFは瞳面FTPから除いておくことが望ましい。多重焦点フィルターを除いて使用する場合、その代わりにほぼ同じ厚さおよび材質の平行平板を挿入することにより、光学系の収差の変動を防ぐことができる。

【0019】さて、ウェハWは、光軸AXと垂直な面内で2次元移動（以下、XY移動とする）するとともに、光軸AXと平行な方向に微動（以下、Z移動とする）するウェハステージWST上に保持される。ウェハステージWSTのXY移動、Z移動は、ステージ駆動ユニット22によって行われ、XY移動に関してはレーザ干渉計23による座標計測値に従って制御され、Z移動に関してはオートフォーカス用のフォーカスセンサー24の検出値に基づいて制御される。ステージ駆動ユニット22、スライダ機構20等は、主制御ユニット25からの指令で動作する。この主制御ユニット25は、さらにシャッター駆動ユニット26へ指令を送り、シャッター3の開閉を制御するとともに、開口制御ユニット27へ指令を送り、絞り8、又はレチクルブラインド11の各開口の大きさを制御する。また主制御ユニット25は、レチクルステージRSTへのレチクルの搬送路中に設けられたバーコードリーダー28が読み取ったレチクル名を人力できるようになっている。従って主制御ユニット25は、入力したレチクル名に応じてスライダ機構20の動作、開口駆動ユニット27の動作等を統括的に制御し、絞り8、レチクルブラインド11の各開口寸法、及び多重焦点フィルターMFFの発、不要を、そのレチク

ルに合わせて自動的に調整することができる。

【0020】図2に投影光学系PL部の拡大図を示すが、両側テレセントリックな投影光学系では瞳面FTPにおいては、レチクルR上の任意の点（例えばPr）を発した光束Llpが略平行光となって透過し、ウェハW上の点（例えばPr'）に結像する。瞳面FTPに設けられた多重焦点フィルターMFFを透過した光束は、中心部FA（光軸近傍の円内）では、周辺部FBに比べ強度的に弱められると共に、中心部FAの透過光Lfaは周辺部FB部の透過光Lfbに比べて位相が π （rad）ずれた光束となるように、多重焦点フィルターMFFは設計されている。

【0021】次に図3を参照して多重焦点フィルターMFFの振幅透過率について説明する。図3（A）は多重焦点フィルターMFFの構造を示し、図3（B）は多重焦点フィルターMFFの振幅透過率を示す。図3（B）で縦軸は振幅透過率 t を示し、横軸は瞳面FTP上での中心（投影光学系の光軸AX）からの距離 r を示している。

【0022】多重焦点フィルターMFFは図3（A）に示す如く、透明な円形の平行平板MFFaの片面に半透過性の薄膜TPCを付加して形成されている。多重焦点フィルターMFFの振幅透過率は図3（B）に示す如く、周辺部FBではFB t となり、光軸AXを中心とした円形状の中心部FAではFA t となる。多重焦点フィルターMFFの周辺部FBは完全透過であり、振幅透過率FB t は+1（基準値）となる。これに対して中心部FAでの振幅透過率FA t は薄膜TPCにより $-a$ （ $a \leq 1$ ）となっている。すなわち、薄膜TPCは多重焦点フィルターMFFの中心部FAの透過率を周辺部FBの透過率より低くし、かつ、中心部FAを透過する光と周辺部FBを透過する光の位相を反転させている。図3（B）で距離 r は中心部FAの光軸AXを中心とした半径を示し、距離 r_{max} は多重焦点フィルターMFFの光軸AXを中心とした最大半径を示している。

【0023】前述の如くこのような多重焦点フィルターMFFを設けることにより、焦点深度は拡大する。しかしながら近接した各ホールパターンを転写する場合、各ホールの周囲にはいわゆるリングング（サブピーク）が生じ、それらが重なる領域では、夫々のリングングのピーク強度が重なり合う。このようなリングングのサブピークの重畳によってゴースト像の発生等の悪影響が生ずる。そこで、本発明では多重焦点フィルターMFFを使ってコンタクトホールパターンを転写する時に発生するリングングによる悪影響をレチクルを照明する照明光のコヒーレンシを調整することにより除去するものである。

【0024】図4は図1に示す装置において照明光のコヒーレンシを調整するための照明方法を実現するための構成である。本実施例では図4（A）に示すように照

明光のコヒーレンシの調整を実現するために、フライアイレンズ7の射出側近傍に、ターレット式の交換可能な複数の絞り81、82、83、一を設けた（図1では便宜上絞り8として表してある）。このターレット80は駆動系800aにより回転可能となっている。この交換用の回転駆動系800aは駆動ユニット27を介した主制御ユニット25の指令により動作する。このときの指令は例えば前述の様にレチクル上のバーコードからの情報に基づいたもの、あるいはオペレータが入力するものである。図4（B）はターレットに装着された各絞りの形状を表す。図4（B）で絞り81は円形開口を有する従来の照明系の絞りを表し、絞り82、83は輪帯状の開口を有する輪帯照明用の絞りを表し、絞り84はいわゆる変形光源と呼ばれるSHRINC法の絞りをそれぞれ表す。絞り82は σ 値（照明系の開口部のウェハ側換算と投影光学系のウェハ側開口数NAwとの比）が0.5となるような開口部を有し、遮光部の半径を開口部の半径の0.6倍（輪帯比0.6）とした輪帯照明用の絞りである。絞り83はラインアンドスペースパターンを投影する場合に使用される絞りであり、 σ 値をラインアンドスペースパターンに最適化した（例えば $\sigma = 0.7$ ）輪帯照明を実現するための絞りである。

【0025】絞り84は1つの開口部のウェハ側での換算値とウェハ側NAとの比が0.1~0.3程度である開口部を4つ有する絞りである（各開口部の最適位置については後述する）。各絞り81、82、83、84はフライアイレンズ7の射出側に接近して配置されるため、投影レンズPLの瞳FTP（フーリエ変換面）とほぼ共役になっている。

【0026】図5（A）はウェハ上の寸法に換算して0.3 μ m角の2つのコンタクトホールパターンP₁、P₂が近接して並ぶレチクルRの部分断面図を示している。また、両パターンの中心間隔dはウェハ上の寸法に換算して0.96 μ mとしてある。図5（B）、（C）はこのレチクルパターンP₁、P₂を投影光学系PLを介してウェハ上に投影するときのレチクル上でのコヒーレンス関数（複素コヒーレンス度）のシミュレーション結果を示したものである。ここで、上記の照明光学系の条件はウェハ側の開口数NAwが0.57であるi線（波長0.365 μ m）用の投影光学系PLに対してのものである。

【0027】ここで用いる多重焦点フィルターMFFは多重焦点フィルターMFFは $r_1/r_{\dots} = 0.5$ となるように設定され、 r_{\dots} はウェハ側の開口数NAw、すなわち0.57に相当するように設定されている。また図3（B）の如く、周辺部FBでは+1の振幅透過率であり、中心部FAでは $-a$ （ $-a = -0.3$ ）の振幅透過率である。すなわち、多重焦点フィルターMFFは $r_1/r_{\dots} = 0.5$ となる中心部FAでの振幅透過率は0.3（完全透過部と逆符号）であり、その外側の

透過部F Bの振幅透過率が+1となるフィルターである。

【0028】図5(B)、(C)はレチクル上のコヒーレンス関数(複素コヒーレンス度)を示す。コヒーレンス関数はファンシター・ツェルンケの定理により、レチクル上から見た光源(フライアイ射出面に設けた各種絞り)の光量分布のフーリエ変換により得られる。光源が通常の如く円形であれば、コヒーレンス関数は円のフーリエ変換となり、第1種1次のベッセル関数 J_1 を用いて $2 \times J_1: (2\pi \times NA \cdot x \times \lambda) / (2\pi \times NA \cdot x \times \lambda)$ と表せる。ここで、 NA は照明系の NA 、 x は基準点からの距離を表している。なお、ここでコヒーレンス関数の基準位置は一方のコンタクトホールパターンP1の中心とした。

【0029】図5(B)は絞り82を使用した場合のレチクル上のコヒーレンス関数(複素コヒーレンス度)を示す。すなわち、 σ (コヒーレンスファクター)=0.5(ウェハ側の開口数 $NA_w=0.57$ に対して照明系の開口数 NA_i はウェハ側換算で0.285)、輪帯比0.6の輪帯照明(遮光部のウェハ側の開口数はウェハ側換算で0.171)を行った場合のレチクル上のコヒーレンス関数を示す。尚、横軸の寸法はウェハ側換算(投影倍率倍した値)である。この場合、P:を基準としたコヒーレンス関数CAはP:の位置では-0.3程度と負に大きな値となっている。この結果、図5(B)に示す輪帯照明下では2つのホールパターンP1、P2の像はウェハ上で振幅的に相殺し合い、2つのパターンからの両方の像の重なる領域での強度は低下することとなる。

【0030】一方、図5(C)は $\sigma=0.6$ の通常照明の場合のレチクル上のコヒーレンス関数を示す。 $\sigma=0.6$ の通常照明ではP:の位置でコヒーレンス関数Cは-0.1程度で0に近い。この結果、 $\sigma=0.6$ の通常照明では両ホール像の振幅的な干渉作用は極めて弱く、従って両像の重なる領域での強度は両像の強度の単純な加算となる。

【0031】本発明のように、レチクルRのフーリエ変換面で光源の形状(光量分布)を操作すると、前述のファンシター・ツェルンケの定理によりレチクル面上の照明光の空間的コヒーレンシー(可干渉性)が変化するが、従来、多重焦点フィルターMFFと照明光の空間的コヒーレンシーとの最適化を行う検討は成されていなかった。

【0032】そこで以後、シミュレーション結果を基に多重焦点フィルターMFFと照明光の空間的コヒーレンシーとの最適化について説明する。まず、多重焦点フィルターMFFを設けた投影光学系PI.を使って $\sigma=0.6$ の通常照明を行った場合のシミュレーション結果について図8、図9を用いて説明する。図8は図5のレチクルと異なり、ウェハ側換算で0.3 μm 角のホールパター

ンが完全に孤立して存在する場合の像強度分布(断面)であり、図9は図5に示すパターンP1、P2のレチクルの像強度分布(断面)である。各図共に(A)はベストフォーカス、(B)は $\pm 1 \mu m$ デフォーカス、(C)は $\pm 2 \mu m$ デフォーカス状態での像を示す。

【0033】また、各図中Eopはパターンニングすべきポジ型フォトリソストを完全に感光させる(現像後、完全に除去される)光量レベルを示し、各像の縦方向の倍率(実際の露光では露光量に対応)は、各条件でのベストフォーカスに於いて、各像のEopでのスライス幅が0.3 μm (設計値)となるように設定してある。一方、各図中EcはEopの半分の光量で現在のポジ型フォトリソストはこのEcより高い光量を受けると膜べり(現像により一部が溶解する現象)が生じる。良好なホールパターン像をレジストに転写するためにはホールパターン部がEop以上であり、その他の部分はEc以下であるような像強度分布が必要である。さて、図8(A)に示す像I81の如く、多重焦点フィルターを用いて形成した像の周囲にはいわゆるリングングI81a、I81bが生じる。

【0034】図8は断面図であるので、2つのリングングが生じているように見えるが実際にはホールパターンの像の周囲をとり囲む、円環状のリングングが生じる。しかしながら、このリングングI81a、I81bはポジレジストに膜べりを与えるレベルEcよりも低いため、特に問題となるものではない。また、 $\pm 1 \mu m$ 、 $\pm 2 \mu m$ デフォーカス状態においては、ホール像強度I82、I83も低下するがリングングも低下するため膜べりは生じず、ホールパターン像がレジストパターンに転写することはない。

【0035】図8(A)、(B)より、この条件での焦点深度は $\pm 1 \mu m$ 、幅で2 μm 程度あることがわかるが、これは多重焦点フィルターを用いない場合に比べて圧倒的に大きな値であり、多重焦点フィルターの効果が確認されている。しかしながら、図9(A)の如く、近接した2つのホールパターンの場合、従来の $\sigma=0.6$ の通常照明では両ホールがそれぞれ作るリングングのピーク値が単純に強度加算されるため両ホールの中間に、両リングングの重なった明るい領域(リングングの重なりによる強度)I910が形成されてしまう。シミュレーション結果の如く強度I910はレベルEcより大きいため、ポジレジストに不要な膜べりを生じさせてしまい、良好なホールパターンは形成できなくなる。また、 $\pm 1 \mu m$ 、 $\pm 2 \mu m$ デフォーカス状態においては、ホール像強度I92、I93も低下し、リングングも低下するため、レジストパターンに転写すること(膜べり)はないが、ホール像強度が低下しているため、像の忠実度が低下する。

【0036】一方、本発明に従って、多重焦点フィルターと照明光の空間的コヒーレンシーとの最適化を図るた

めに輪帯照明を採用した場合のシミュレーション結果を図6、7に示す。図6、図7における、輪帯照明の条件は絞り82に示したものであり、すなわち $\sigma=0.5$ 、遮光部が開口部の0.6倍(輪帯比0.6)の輪帯照明を行った場合のシミュレーション結果を示している。

【0037】図6は図5のレチクルと異なり、図8と同様にウェハ上換算で $0.3\mu\text{m}$ 角のホールパターンが完全に孤立して存在する場合の像強度分布(断面)であり、図7は図9と同様に図5に示すパターン P_1 、 P_2 のレチクルの像強度分布(断面)である。図6、図7各図共に(A)はベストフォーカス、(B)は $\pm 1\mu\text{m}$ デフォーカス、(C)は $\pm 2\mu\text{m}$ デフォーカス状態での像を示し、図6、図7中の F_{op} 、 F_c は図8、図9と同様の意味である。また、図6、図7中の各像の縦方向の倍率(実際の露光では露光量に対応)は、図8、図9と同様に各条件でのベストフォーカスに於いて、各像の E_{op} でのスライス幅が $0.3\mu\text{m}$ (設計値)となるように設定してある。

【0038】図7は図9と同様に図5に示すレチクルパターンの像強度分布であるが、両ホール像から生じるリンギングは前述の如く両ホールパターンの照明光のコヒーレンスが負であるために、振幅的に相殺し、従って強度は両ホールのリンギングの強度の単純な加算より小さくなる。その結果、図7(A)に示すようにリンギングの重なり合う領域での強度1710をレベル E_c より低くすることができ、不要な膜べりの発生を押さえることができる。

【0039】また、図7(B)、(C)、図6(A)、(B)、(C)に示す如く、輪帯照明を行った場合でも、焦点深度や完全孤立のホールパターンについてのホールパターン像特性も従来の $\sigma=0.6$ の照明系(図8、9)の場合の焦点深度や完全孤立のホールパターンについてのホールパターン像特性と同等である。従って、本発明による輪帯照明によれば、多重焦点フィルターを使った場合の他の性能を何ら犠牲とすることなく、通常の照明では生じてしまう近接ホール間の膜べり問題を解決することができる。

【0040】また以上の説明ではあらかじめ決定された*

$$0.818 \times \lambda \times \left[1 - (1-t)^{1/2} \times f^{5/2} / e \right] \dots (1)$$

NAW
(ここで $f = r_1 / r_{\dots}$ 、 e は自然対数の底)

【0045】となることがわかった。例えば前述の条件の多重焦点フィルターMFF($\xi=0.5$ 、 $t=-0.3$)を使った露光では、 $\lambda=0.365\mu\text{m}$ 、 $NAW=0.57$ より、第1明環の半径は $0.48\mu\text{m}$ となる。である前述の如く問題となるのは、リンギングが重なる場合であり、両ホール像の間隔がホール像の中心からリンギングのピークまでの距離の2倍程度離れている場合である。この半径の約2倍離れた任意の2点の照明光の

*レチクルパターンの寸法(2つのホール間の寸法) $d=0.96\mu\text{m}$ に対してコヒーレンス関数を負とするような輪帯照明を採用するものとした。しかし近接したホールパターンに於いてリンギングが問題となるのは、このリンギングが重なる場合であり、従って両ホールの間隔がホール像の中心からリンギングのピークまでの距離の2倍程度離れている場合である。

【0041】ところで、ホール像の中心からリンギングのピーク値までの距離は使用する多重焦点フィルターの振幅透過率と中心部FAの半径 r_1 と露光波長 λ 及び投影光学系PLの開口数NA(ウェハ側開口数 NA_w もしくはレチクル側開口数 NA_r)によりほぼ定まるものである。従って、レチクル上でどの程度離れた位置でコヒーレンス関数を負の最大とすればよいかはレチクルパターンによらず露光装置(投影光学系の開口数NA、多重焦点フィルターの振幅透過率と中心部FAの半径 r_1 、露光波長 λ)のみによって決定される。

【0042】多重焦点フィルター、又は一般的な瞳フィルターを投影光学系の瞳面に用いない場合には、投影光学系により形成される露光波長程度に微小なコンタクトホールパターン像の振幅分布は前述のコヒーレンス関数と同様に J_1 を用いて、ほぼ $2 \times J_1$ ： $(2\pi \times NAW \times x / \lambda) / (2\pi \times NAW \times x / \lambda)$ となる。このとき、コンタクトホール像の第1暗環の半径は

$$0.610 \times \lambda / NAW$$

(λ ：露光波長、 NAW ：投影光学系のウェハ側開口数)となり、第1明環(リンギング)の半径は $0.818 \times \lambda / NAW$ となることは広く知られている。

【0043】ところで、ウェハ側開口数 NA_w に相当する r_{\dots} (瞳の半径)に対して、 $r_1 < r_{\dots}$ となる r_1 を半径とする中心領域内の振幅透過率が t であり、その外側の振幅透過率が $+1$ であるような多重焦点フィルターを用いると、上記の第1明環の半径、換言すればコンタクトホールパターンの中心とリンギングのピークの距離)は近似的に

【0044】

【数1】

コヒーレンスが負となっていれば、ホール像は振幅的に相殺し合いリンギングの強度は低下する。

【0046】従って、レチクルパターンに依存することなく、投影露光装置のみによってリンギングのピークを小さくするための照明条件が定まる。このように第1明環の半径の約2倍離れた任意の2点間で照明光のコヒーレンスを負とすることを輪帯照明により実現するには、

(1)式を輪帯照明にも適用すると

【0047】

* * 【数2】

$$\frac{0.818 \times \lambda}{NAw \times \sigma} \times (1 - \rho^{3/2} / e) \quad \dots (2)$$

【0048】となる。ここで、 σ は照明系のコヒーレンスファクターであり、従って $NAw \times \sigma$ は照明系の開口数のウェハ側換算値となる。また ρ は輪帯比であり、多重焦点フィルターでの ξ に相当する。ただし、輪帯照明では中心部が遮光されており、照明光学系中の瞳面での※

※光軸近傍の光量は零であるため、 t の値は零となる。従って、多重焦点フィルターに最適な輪帯照明の条件は、

【0049】

【数3】

$$\begin{aligned} & \frac{0.818 \times \lambda}{NAw \times \sigma} \times (1 - \rho^{3/2} / e) \\ & = 2 \times 0.818 \times \frac{\lambda}{NAw} \times \{1 - (1 - t)^{1/2} \times \xi^{3/2} / e\} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

【0050】を満たす σ 、 ρ 程度であればよい。上式中 σ を ρ 、 t 、 ξ で表すと、

★ 【0051】

★ 【数4】

$$\rho = \frac{1 - \rho^{3/2} / e}{2 \{1 - (1 - t)^{1/2} \times \xi^{3/2} / e\}} \quad \dots (4)$$

【0052】となる。以上より投影露光装置（多重焦点フィルターの振幅透過率 t 、多重焦点フィルターの中心部FAの半径 r ：と投影光学系PLのウェハ側開口数 NAw に相当する $r_{0.1}$ との比 ξ ）のみによってリングングのピークを小さくするための照明条件（コヒーレンスファクター σ 、輪帯比 ρ ）が定まる。このとき開口数 NAw や波長 λ には依存しない。

【0053】例えば前述のシミュレーションで用いた多重焦点フィルターMFF（ $\xi=0.5$ 、 $t=-0.3$ ）を使った露光では、 $\lambda=0.365 \mu m$ 、 $NAw=0.57$ より、コンタクトホールパターンの中心とリングングのピークとの間隔（第1明環の半径）は（1）式、及び図6（1）、図8（1）の如く、ほぼ $0.48 \mu m$ （ $0.96 \mu m$ の半分）となる。従って、基準位置に対して $0.48 \times 2 = 0.96 \mu m$ 離れた位置で（ウェハ上換算）コヒーレンシーを負の最大とするような空間的コヒーレンシー（光源形状のフーリエ変換）を照明光学系に与えるようにする。すなわち、例えば前述のシミュレーションで用いたように $\sigma=0.5$ の照明系であって、かつ照明系瞳面上で光軸からその半径の0.6倍（輪帯比）程度の円形部を遮光する輪帯照明とすればよい。

【0054】ここで、前述のシミュレーションに用いた多重焦点フィルターMFF（ $\xi=0.5$ 、 $t=-0.3$ ）での σ と ρ の関係を図10に示す。図10で縦軸は σ を示し、横軸は ρ を示している。この図からも明らかに本発明で用いる輪帯照明の σ 値は、例えば9.1、秋応物「超解像リソグラフィ」（2）輪帯照明による高解像化、東内ほか、Resolution improvement with annular illumination, K. Tounai et al. Proc. SPIE, Vol 1674, P753などで一般に輪帯照明で通常最適と言われる条

件 $\sigma=0.7$ 程度より小さい方が好ましいことがわかる。すなわち、輪帯照明によって作られるコヒーレンスの負の最大が一般に最適と言われる位置より離れた位置になるように設定する方が好ましい。また、多重焦点フィルターの条件（ ξ 、 t ）を変更しても、 σ が通常より小さい方が良いという条件は大きく変わらない。ここで、図4（B）中の絞り82は本発明の特徴的である σ 値の小さい輪帯照明用の絞りである。

【0055】尚、前述のシミュレーションでは $\xi=0.5$ 、 $t=-0.3$ の多重焦点フィルターに $\sigma=0.5$ 、 $\rho=0.6$ の輪帯照明を用いており、この σ 、 ρ は図10の最適条件よりわずかにずれた値となっている。しかし前述のシミュレーションの如く本発明の効果は充分に発揮され、上記条件式より多少ずれた σ 、 ρ の条件でも充分に本発明の効果が得られることがわかる。

【0056】従って、 σ 及び ρ の値は厳密に上式を満たす必要はなく10%程度の差を含んでいても本発明の効果は発揮される。なお、以上の実施例として光学系の諸条件をi線（ $\lambda=0.365 \mu m$ ）、 $NA=0.57$ 、 $r/r_{0.1}$ である $\xi=0.5$ 、振幅透過率 $t=-0.3$ とし、照明光学系は $\sigma=0.5$ 、また半径がその0.6倍の部分で遮光する輪帯照明系としたが、本発明の効果はこの条件に限定して得られるものではない。

【0057】例えば露光波長 λ は任意であり、KrFレーザの $0.248 \mu m$ やArFレーザの $0.193 \mu m$ でも良い。また、ウェハ側開口数 NAw についても任意の値で構わない。また以上の実施例では照明系として輪帯照明のみを用いるものとしたが、レチクル上の照明光のコヒーレンスをより強力に変化させるためにSHRINC法（変形光源）を用いてもよい。すなわち、図4

(B) 中の絞り84の如く照明光束を照明系露面で例えば4ヶ所の領域に限定する。これにより、レチクル面上でのコヒーレンスは基準位置に対して特定の位置では輪帯照明より、さらに大きな負の値とすることができる。尚、照明光束を4ヶ所に限定されるものではなくnヶ所でもよい(nは自然数)。最適化された変形光源を用いると輪帯照明の場合よりも近接したコンタクトホールの中に生じる不要パターンの除去に効果的である。

【0058】またこのときの変形光源の形状は使用する多重焦点フィルタにより生じるコンタクトホール像のピークとリングとの間隔の2倍の距離のパターンピッチに対して最適化するとよい。変形光源形状の最適化は特開平4-225359号公報等に詳細に説明されているのでここでは簡単に説明する。例えば、第1明環の半径の2倍をピッチPMとしたとき、そのピッチPMに対して最適化された配置をもつ4つ(又は2つ)の2次光源像(例えば絞り84中の4つの開口部分や絞り81を十字状に遮光した4つの開口部分)を用いるSHRINC法を採用すれば、レチクル上でピッチPM(ウェハ側換算)の間隔をもつ2つの位置において、一方の位置に対する他方の位置でのコヒーレンス関数を大きく負(逆符号)にすることができる。

【0059】図11は2次光源像の最適化を説明するための図であり、ここでは絞り81を十字状に遮光した4つの開口部分による2次光源について説明する。図11はフライアイレンズ7(図1)の射出面における十字状遮光部84aの配置を示し、x方向とy方向とに延びた遮光部は中心CCで交差して十字状になっている。このとき、十字状の遮光部のx、y方向の各幅は、フライアイレンズ7を構成する複数の角柱状エレメントの境界線に合わせるように設定される。さらに十字状遮光部の4つの開口部の夫々に現れるフライアイレンズ7のエレメント数も極力等しくするのが望ましい。

【0060】さて、図11においてフライアイレンズ7の射出端面は絞り81を十字状に遮光した4つの開口部によって4分割され、分割されたそれぞれのフライアイレンズの組の光量上の重心点PG₁~PG₄が黒丸で示されている。この光量重心点PG₁~PG₄の中心CCからのx方向、y方向の各偏心量Pu、Pvを、レチクル上のピッチPMに対応したものとすればよい。

【0061】前述の如く、フライアイレンズ7の射出端面はレチクルパターン面に対して光学的にフーリエ変換の関係となっている。このためフライアイレンズ7の射*

$$C(x) = \int [\delta(u - Pu)] + \delta(u + Pu) \cdot \exp[2\pi i x u / (f \cdot \lambda)] du$$

となり、

$$C(x) = \exp[2\pi i Pu x / (f \cdot \lambda)] + \exp[-2\pi i Pu x / (f \cdot \lambda)]$$

となる。

【0065】これは

* 出端面での光軸での光軸AXからある1点までの距離Δxはレチクルパターン上での上記1点を発した光束の入射角度(θ₀)に比例し、 $f \cdot \sin \theta_0 = \Delta x$ となる。ここでfはレチクルパターン面とフライアイレンズ射出面とをフーリエ変換の関係で結ぶ光学系(合成光学系)の焦点距離(合成焦点距離)である。

【0062】前述の特開平4-225359号公報等に記載された条件は、主にラインアンドスペースパターン等の周期パターンに適合する条件であり、周期パターンのピッチがPであるとき、 $\sin \theta_1 = \lambda / (2 \cdot P)$ なる入射角θ₁でレチクルを照明するのがよいとされている。このときレチクル上の周期パターンから発生する0次回折光及び、片方の一次回折光が共にθ₁だけ光軸から等しく傾いて発生する。またウェハへも $\sin \theta_2 = M \times \sin \theta_1$ なるθ₂だけ等しく傾いて入射するため、焦点深度が増大するとされている。

【0063】また2次元(x、y方向)の周期パターンに対応するためには図11中のPu、Pvを $Pu = f \cdot \lambda / (2 \cdot Px)$

$$Pv = f \cdot \lambda / (2 \cdot Py)$$

とするとよいとされている。ここでPx、Pyはそれぞれレチクル上でx方向及びy方向のパターンの周期である。これを比較的近接したコンタクトホールパターンに適用するには上記のパターン周期(Px、Py)をレチクル上のホールパターン間距離Dhとすればよい。すなわち、 $Pu、Pv = f \cdot \lambda / (2 \cdot Dh)$ となるPu、Pvを各4光源の光量重心位置とすればよい。なお、この条件ではレチクル上にはx方向又はy方向に近接したコンタクトホールに有効であり、x、y方向から45°ずれた方向に近接したコンタクトホールにはあまり有効ではない。

【0064】従ってレチクルパターン上でのコンタクトホールの近接し合う方向に応じて4光源の位置と光軸を中心に回転させるとよい。尚、上記のPu、Pvを $f \cdot \lambda / (2 \cdot Dh)$ を満たすPu、Pvに各4光源の光量重心を配置してレチクルを照明すると、レチクル上でDh離れた2点でのコヒーレンシは逆極性となる。なぜなら、フライアイレンズ7の射出面で光軸からx方向に+Pu、およびx方向に-Pu離れた2つの光源(点光源)の強度分布をフーリエ変換し、レチクル上のコヒーレンス関数をu、vをフライアイレンズ7の射出面の座標とすると、コヒーレンス関数C(x)は

$$C(x) = \cos[2\pi \cdot Pu \cdot x / (f \cdot \lambda)]$$

であるため、 $Pu = f \cdot \lambda / (2 \cdot Dh)$ であれば

$$C(x) = \cos(\pi x / Dh)$$

はなり、

$$x=0 \text{ (基準点) で } C(0) = +1$$

$$x=Dh \text{ で } C(Dh)=-1$$

となり、照明光のコヒーレンスは大きく逆符号となる。

【0066】尚、前述の式(4)、あるいは式(1)とSHRINC法による光源位置の最適方法から予め照明条件を求めることができ、この照明条件はオペレータによる入力等により主制御ユニット25に入力される。そして主制御ユニットはこの照明条件を満たすように駆動ユニット27を制御して最適な絞りを選択する。さて本発明の露光装置をコンタクトホール以外のパターンへの露光に使用する場合には投影光学系の瞳面の多重焦点フィルターは除いたほうがよく、かつ照明条件も通常の円形絞り(例えば図4(B)中の絞り84や一般に最適とされる σ の大きめの輪帯照明の図4(B)の絞り83)を用いるとよい。

【0067】また、多重焦点フィルターMFFは円形状のフィルターであるとしたが、多角形のフィルターであってもよい。また本発明にさらに前述の累進焦点法(FLEX)を併用することで、さらに焦点深度を拡大することもできる。

【0068】

【発明の効果】本発明に於いては、投影光学系内のマスクに対する光学的フーリエ変換面に透過光の振幅及び位相を変化せしめる瞳フィルター(多重焦点フィルター)を設け、完全に孤立していない、すなわち近接したコンタクトホールパターンに対する照明光の位相(コヒーレンス)を近接した両ホールパターン上で逆符号とすることができる。これにより、従来の多重焦点フィルターの性能を低下させることなくリングによる感影響(ゴースト像の発生)を除去することができ、近接したホールパターンを良好に露光可能となる。

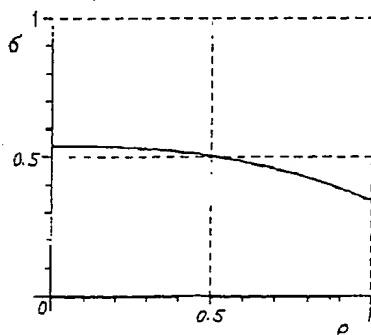
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に好適な投影露光装置の全体的な構成を示す図である。

【図2】投影光学系の部分的な構造を示す部分断面図である。

【図3】多重焦点フィルターの振幅透過率を示す図であ

【図10】



る。

【図4】照明系内部の光源像の形状を切り換える交換絞り機構を示す図である。

【図5】レチクル上の接近した2つのコンタクトホールパターンに対するコヒーレンス関数を通常照明と輪帯照明との夫々でシミュレーションした結果を示すグラフである。

【図6】多重焦点フィルターと輪帯照明とを用いたときのコンタクトホールパターン像のデフォーカスに伴う強度分布の変化をシミュレーションしたグラフである。

【図7】2つのホールパターンを多重焦点フィルターと輪帯照明を用いて投影したときのデフォーカスに伴う強度分布の変化をシミュレーションしたグラフである。

【図8】多重焦点フィルターを用いたときのコンタクトホールパターン像のデフォーカスに伴う強度分布の変化をシミュレーションしたグラフである。

【図9】2つのホールパターンを多重焦点フィルターを用いて投影したときのデフォーカスに伴う強度分布の変化をシミュレーションしたグラフである。

【図10】輪帯照明における σ と ρ の関係を示すグラフである。

【図11】照明系のフライアイレンズとSHRINC法で使う絞りとの配置関係を投影レンズの瞳内で見た図である。

【図12】SHRINC法の原理を説明する光線図である。

【符号の説明】

8、81、82、83、84…絞り

25…主制御ユニット

27…駆動ユニット

R…レチクル

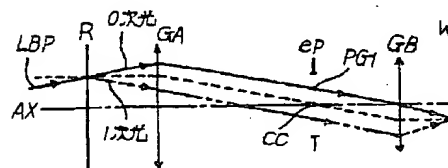
W…ウニハ

PL…投影光学系

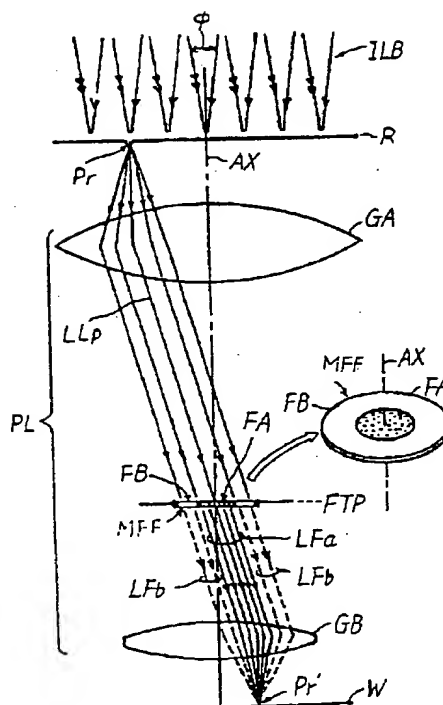
MFF…多重焦点フィルター

FTP…フーリエ変換面(瞳面)

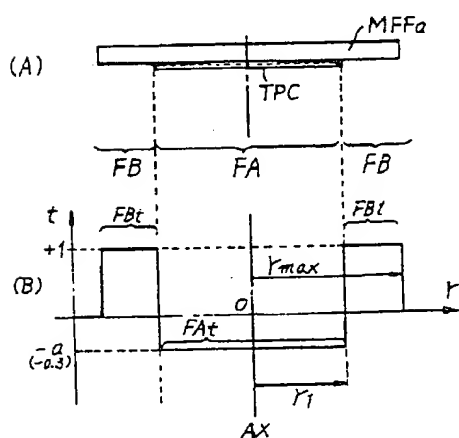
【図12】



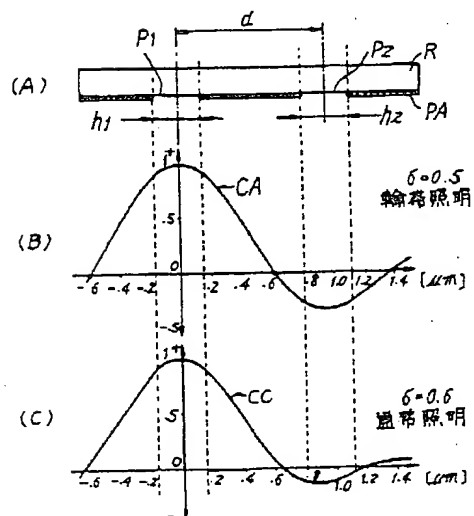
【图2】



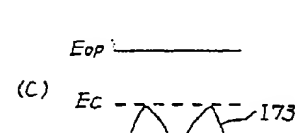
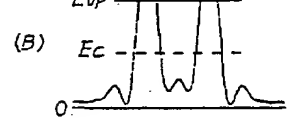
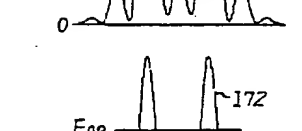
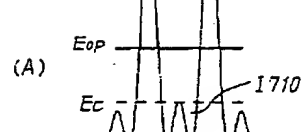
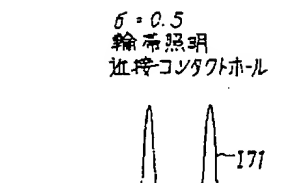
【凶3】



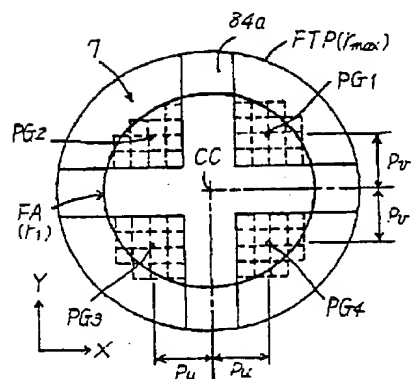
【図 5】



【圖 7】

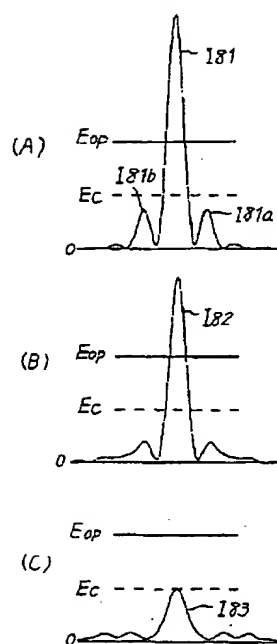


【☒ 1 1】



【図8】

$\delta = 0.6$
通常照明
完全孤立パターソン



【図9】

$\delta = 0.6$
通常照明
近接コンタクトホール

